

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 102 26 488.0  
**Anmeldetag:** 14. Juni 2002  
**Anmelder/Inhaber:** Philips Corporate Intellectual Property GmbH,  
Hamburg/DE  
**Bezeichnung:** MR-Anordnung mit unterschiedlich optimierten  
Hochfrequenzspulenarrays  
**IPC:** G 01 R 33/36

BEST AVAILABLE COPY

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. März 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Wallner

**PRIORITY DOCUMENT**  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)



## BESCHREIBUNG

MR-Anordnung mit unterschiedlich optimierten Hochfrequenzspulenarrays

Die Erfindung betrifft eine Magnetresonanz-Anordnung (MR-Anordnung) für die MR-Bildgebung sowie eine Hochfrequenzspulenanordnung für eine solche MR-Anordnung.

5

Derartige MR-Anordnungen sind allgemein bekannt und vielfach beschrieben, beispielsweise in der WO 00/72034 A1, in der eine Magnetresonanzanordnung zur Anwendung des SENSE-Verfahrens mit einem Hochfrequenzspulenarray beschrieben ist. Die

10 Optimierung von Hochfrequenzspulenarrays ist von großer Bedeutung für die MR-Bildgebung. Durch die Parametervariation von Spulenzahl, Spulenform und Anordnung der Spulen lassen sich für bestimmte klinische Protokolle gezielte Optimierungen der Bildqualität herbeiführen. Grundsätzlich besteht die Bestrebung, ein maximales Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) zu erhalten. Ein hohes SNR in tieferen Schichten wird mit Hochfrequenzspulen erreicht, die eine bestimmte Mindestgröße haben. Dadurch ist

15 jedoch die maximale Anzahl der Hochfrequenzspulen bezogen auf den gegebenen Umfang des zu untersuchenden Objekts, z.B. eines Patienten, begrenzt. Eine Erhöhung der Anzahl an Hochfrequenzspulen ist bei der Anwendung von SENSE- oder SMASH-Bildgebungsmethoden allerdings unabdingbar, um einen hohen Reduktionsfaktor für eine entsprechende Zeitauflösung zu erhalten.

20

Grundsätzlich ist festzustellen, dass sich die Design-Kriterien für Hochfrequenzspulen je nach Anwendung und Bildgebungsverfahren wesentlich unterscheiden. So soll bei Anwendung des SENSE-Bildgebungsverfahrens eine geringe Fehlerfortpflanzung bei hohem Reduktionsfaktor erreicht werden, während bei Anwendung von Synergiespulen

25 eine Maximierung des SNR im Vordergrund steht. Daraus folgt, dass sich ein für das SENSE-Verfahren optimiertes Hochfrequenzspulenarray auch geometrisch hinsichtlich der Anzahl, Größe und Lage der Hochfrequenzspulen von einem Synergiespulenarray unterscheidet.

In der klinischen Anwendung ist es wünschenswert, frei zwischen unterschiedlichen Anwendungen und Bildgebungsverfahren wählen und hin- und herschalten zu können, ohne den Patienten bewegen zu müssen, um ein neues Hochfrequenzspulenarray anzulegen. Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine MR-Anordnung  
5 sowie eine Hochfrequenzspulenanordnung für eine solche MR-Anordnung anzugeben, die dies ermöglichen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine MR-Anordnung gemäß Anspruch 1 gelöst mit:

- 10 - einem Hauptfeldmagneten zur Erzeugung eines statischen Hauptmagnetfeldes,
- einer Gradientenspulenordnung mit mehreren Gradientenspulen zur Erzeugung von magnetischen Gradientenfeldern,
- einer Hochfrequenzspulenordnung zum Senden und/oder Empfangen von Hochfrequenzsignalen mit mindestens zwei in einem Spulenkörper integrierten, für  
15 unterschiedliche Anwendungen optimierten Hochfrequenzspulenarrays, wobei jedes Hochfrequenzspulenarray mindestens zwei voneinander entkoppelte Hochfrequenzspulen aufweist,
- einer Sende-/Empfangeinheit zur Ansteuerung der Hochfrequenzspulenarrays und zum Empfang von MR-Signalen der Hochfrequenzspulenarrays, wobei mehrere Kanäle,  
20 insbesondere eine der Anzahl der Hochfrequenzspulen des Hochfrequenzspulenarrays mit den meisten Hochfrequenzspulen entsprechende Anzahl von Kanälen, vorgesehen ist,
- einer Steuereinheit zur Steuerung der MR-Bildgebung, wobei die Steuereinheit zur Umschaltung der Hochfrequenzspulenarrays für einen zeitlich getrennte Nutzung der einzelnen Hochfrequenzspulenarrays während der MR-Datenerfassung ausgestaltet ist,  
25 und
- einer Verarbeitungseinheit zur Verarbeitung empfangener MR-Signale.

Die gleichzeitige Integration von für unterschiedliche Anwendungen optimierten Hochfrequenzspulenarrays in einen Spulenkörper gemäß der Erfindung bietet große  
30 Vorteile. Während einer Untersuchung muss der Patient nicht mehr bewegt oder gar

- umgebettet werden, wenn die Anwendung eines anderen MR-Bildgebungsverfahren gewünscht ist, wodurch die Gesamtuntersuchungszeit verringert wird. Es können nun die unterschiedlichen Hochfrequenzspulenarrays gezielt für bestimmte klinische Anwendungen getrennt selektiert werden. So ist es beispielsweise bei entsprechender
- 5 Optimierung der verschiedenen Hochfrequenzspulenarrays möglich, ein Optimum bezüglich des SNR und/oder höchster zeitlicher Auflösung zu erzielen.

- Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen MR-Anordnung sind in den Unteransprüchen angegeben. Eine Hochfrequenzspulenordnung für eine solche MR-
- 10 Anordnung ist in Anspruch 10 angegeben.

- Bei der erfindungsgemäßen MR-Anordnung sind zumindest die Hochfrequenzspulen innerhalb der einzelnen Hochfrequenzspulenarrays voneinander entkoppelt. Es kann dann jeweils nur ein Hochfrequenzspulenarray zur Anregung (im Sendefall) oder zur
- 15 Erfassung von MR-Signalen (im Empfangsfall) gleichzeitig benutzt werden, weshalb die Hochfrequenzspulen der anderen Hochfrequenzspulenarrays dann elektronisch ausgeschaltet sind. Die Umschaltung zwischen den einzelnen Hochfrequenzspulenarrays kann direkt von einer Steuerkonsole aus für das jeweilige Bildgebungsprotokoll oder von der verwendeten Bildgebungssequenz selbst ausgeführt werden.

- 20 In einer bevorzugten Ausgestaltung ist weiter vorgesehen, dass die einzelnen Hochfrequenzspulenarrays ebenfalls voneinander entkoppelt sind, dass also auch die individuellen Hochfrequenzspulen aller unterschiedlicher Hochfrequenzspulenarrays voneinander entkoppelt sind. Dadurch können, sofern eine entsprechend große Anzahl
- 25 von Kanälen in der Sende-/ Empfangseinheit vorgesehen ist, von allen Hochfrequenzspulen parallel MR-Signale empfangen werden. Es können auch entsprechende Schaltmittel vorgesehen sein, die für den Fall, dass die Gesamtanzahl an Hochfrequenzspulen größer ist als die Gesamtanzahl vorhandener Kanäle der Sende-/Empfangseinheit, ein beliebiges Umschalten zwischen Hochfrequenzspulen verschiedener Hochfrequenz-
- 30 spulenarrays ermöglicht. Dies erlaubt die simultane Anwendung unterschiedlicher

Bildgebungsverfahren während einer MR-Datenakquisition, was für spezielle Anwendungen von großem Interesse ist.

Bevorzugt ist gemäß einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung ein erstes Hochfrequenzspulenarray für das SENSE- oder SMASH-Verfahren und ein zweites Hochfrequenzspulenarray als Synergiespulenarray optimiert. Hinsichtlich des SENSE-Verfahrens wird Bezug genommen auf die Veröffentlichung von K. Prüssmann „SENSE: Sensitivity Encoding for Fast MRI“, Magnetic resonance in Medicine 42:952-962 (1999) und die WO 99/54746, in der dieses Verfahren eingehend erläutert ist. Das SMASH-Verfahren ist in der WO 98/21600 beschrieben. Das Hochfrequenzspulenarray für SENSE- oder SMASH-Verfahren ist dabei zur Erzielung einer Verkürzung der Aufnahmezeit optimiert, während mit einem Synergiespulenarray ein maximales Signal-Rausch-Verhältnis erzielt werden soll.

Bevorzugte Weiterbildungen dieser Ausgestaltung sind in den Ansprüchen 4 bis 6 angegeben. Demnach ist insbesondere vorgesehen, dass die Hochfrequenzspulen des SENSE- bzw. SMASH-Hochfrequenzspulenarrays näher am Untersuchungsobjekt liegen, kleiner und vielzahliger sind und einander überlappend angeordnet sind, verglichen mit den Hochfrequenzspulen des Synergiespulenarrays, dessen Hochfrequenzspulen bevorzugt nicht überlappend angeordnet sind.

Im allgemeinen kann zwischen den verschiedenen Hochfrequenzspulenarrays entsprechend dem klinischen Protokoll nach der Erfassung vollständiger Bilddatensätze umgeschaltet werden. Es kann jedoch auch vorgesehen sein, wie in Anspruch 7 angegeben ist, dass alle Hochfrequenzspulen mit einem gesonderten Kanal der Sendee/Empfangseinheit verbunden sind und dass die Steuereinheit ausgestaltet ist zur simultanen Erfassung von MR-Signalen mit Hochfrequenzspulen unterschiedlicher Hochfrequenzspulenarrays. Somit können gleichzeitig MR-Signale aus unterschiedlichen Regionen und mit unterschiedlicher Zielrichtung erfasst werden, was vorteilhafte Anwendungen ermöglicht. So ist es beispielsweise denkbar, gleich während der MR-

- Datenerfassung in Echtzeit Bilder zu rekonstruieren, beispielsweise aus von einem für das SENSE-Verfahren optimierten Hochfrequenzspulenarray erfassten MR-Daten. Derartige Bilder spiegeln dann Veränderungen des Untersuchungsobjekts mit hoher zeitlicher Auflösung wider, was z.B. für die MR-Angiographie interessant ist. Diese
- 5 Echtzeitdaten können dann auch in die Datenakquisition zurückgeführt werden, um eine Bewegungskorrektur oder allgemein eine Steuerung der Datenerfassung zu ermöglichen.

- Grundsätzlich ist es auch möglich, die voneinander entkoppelten Hochfrequenzspulenarrays innerhalb einer Bildgebungssequenz umzuschalten (Umschaltzeit etwa
- 10 100µs). Somit können neue methodische Protokolle angewendet werden, die es erlauben, die unterschiedlichen Hochfrequenzspulenarrays für die Datenakquisition nur von Teilbereichen des k-Raumes einzusetzen. So können beispielsweise die zentralen k-Raum-Daten mit hohem SNR, z.B. mit einem Synergiespulenarray, gemessen werden, während die hohen k-Raumfrequenzen mit hoher Geschwindigkeit, z.B. mit einem
- 15 SENSE-Hochfrequenzspulenarray, akquiriert werden. Mittels einer geeigneten Kalibration, z.B. des SENSE- zum Synergiespulenarray, und einer angepassten Rekonstruktion lassen sich die entsprechenden Bilder ermitteln. Mittels einer derart weitergebildeten MR-Anordnung, die in Anspruch 9 angegeben ist, lassen sich somit die Vorteile einer Messzeitverkürzung und eines maximalen SNR verbinden.

20

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen MR-Anordnung,
- Fig. 2a eine erste Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Hochfrequenzspulenordnung,
- 25 Fig. 2b eine zugehörige Schalteinheit,
- Fig. 3 eine zweite Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Hochfrequenzspulenordnung,
- Fig. 4a, b eine dritte und vierte Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Hochfrequenzspulenordnung mit Schaltmitteln,

30

Fig. 5 ein Diagramm zur Erläuterung einer Anwendung der erfindungsgemäßen MR-Anordnung,

Fig. 6a-e verschiedene Ansichten eines SENSE-Hochfrequenzspulenarrays, und

Fig. 7a-g verschiedene Ausgestaltungen von erfindungsgemäßen

5 Hochfrequenzspulenarrays.

Fig. 1 zeigt schematisch eine Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen MR-Anordnung zur Erstellung von MR-Bildern des in dem Untersuchungsbereich auf einem Patienten-  
tisch 19 angeordneten Patienten 15. Die MR-Anordnung weist eine Hauptfeldmagnet-  
10 anordnung 10 mit mehreren Hauptfeldmagneten auf, die ein stationäres gleichförmiges magnetisches Feld in Längsrichtung des Patienten 15 erzeugen. Zur Erzeugung von magnetischen Gradientenfeldern ist eine Gradientenspulenordnung mit mehreren Gradientenspulen 11, 12, 13 vorgesehen. Zur Erzeugung von Hochfrequenzanregungs-  
impulsen und zur Erfassung von MR-Signalen aus dem angeregten Untersuchungs-  
15 bereich ist ferner eine Hochfrequenzspulenordnung 14 vorgesehen, deren erfindungsgemäße Ausgestaltung weiter unten näher erläutert werden soll.

Zur Ansteuerung der einzelnen Hochfrequenzspulen der Hochfrequenzspulenordnung 14 im Sendebetrieb bzw. zum Empfang der von den einzelnen Hochfrequenzspulen  
20 empfangenen MR-Signale ist eine Sende-/Empfangseinheit 16 vorgesehen. Die Verarbeitung empfangener MR-Signale und die Erzeugung gewünschter MR-Bilder erfolgt durch eine Verarbeitungseinheit 17. Zur Steuerung der Sende-/Empfangseinheit 16, der Verarbeitungseinheit 17 und der verschiedenen Spulensysteme 10-14 ist schließlich eine  
25 Steuereinheit 18 vorgesehen. Weitere Details der grundsätzlichen Ausgestaltung einer solchen MR-Anordnung sowie deren grundsätzlichen Funktionsweise sind allgemein bekannt, beispielsweise aus der eingangs genannten WO 00/72034, und sollen deshalb an dieser Stelle nicht weiter erläutert werden.

In Fig. 2a ist eine erste Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Hochfrequenzspulen-  
30 anordnung 141 gezeigt. Dabei sind, in Form von Oberflächenspulen, zwei Hoch-

frequenzspulenarrays 20, 21 gezeigt, die übereinander um den Patienten 15, der im Querschnitt gezeigt ist, angeordnet sind. Das näher am Patienten 15 liegende Hochfrequenzspulenarray 20 weist dabei insgesamt acht Hochfrequenzspulen 201-208 auf, die nebeneinander und nicht überlappend angeordnet sind. Diese sind für die Benutzung der SENSE-Technik optimiert. Darüber liegend sind vier Hochfrequenzspulen 211-214 des zweiten Hochfrequenzspulenarrays 21 derart angeordnet, dass sich jeweils zwei Hochfrequenzspulen geringfügig überlappen und dass alle Hochfrequenzspulen 201-208 des ersten Hochfrequenzspulenarrays 20 überdeckt sind. Die Hochfrequenzspulen 211-214 sind dabei als Synergiespulen ausgestaltet.

10

Jede der Hochfrequenzspulen 201-208 und 211-214 ist dabei mit einem eigenen Vorverstärker 22 verbunden, so dass sich insgesamt zwölf Anschlusspunkte A-L ergeben. Sofern die Sende-/Empfangseinheit (16 in Fig. 1) nur acht Kanäle aufweist, kann in diesem Fall eine in Fig. 2b gezeigte Schalteinheit 23 verwendet werden, um die zwölf Anschlusspunkte A-L auf die acht Kanäle 1-8 entsprechend zu schalten. Die Schalteinheit 23 wird dazu ebenfalls von der Steuereinheit 18 gesteuert.

15

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausgestaltung einer erfindungsgemäßen Hochfrequenzspulenordnung 142. Diese weist zusätzlich zu den beiden in Fig. 2a gezeigten Hochfrequenzspulenordnungen 20 und 21 eine Kopfvolumenspule 24, einen sogenannten Birdcage, auf, der die beiden Hochfrequenzspulenarrays 20, 21 umschließt. Diese Ausgestaltung ist insbesondere zur Erfassung von MR-Bildern des Kopfes eines Patienten vorgesehen. Für die Kopfvolumenspule 24 ist außerdem ein gesonderter Vorverstärker 22 mit einem separaten Eingang M1 (zum Senden) bzw. Ausgang M2 vorgesehen.

20

25

Zwei weitere Ausgestaltungen einer erfindungsgemäßen Hochfrequenzspulenordnung 143, 144 sind in den Fig. 4a, 4b gezeigt. Bei diesen Ausgestaltungen werden weniger Kanäle benötigt, da entsprechende Schaltmittel 25 bzw. 23 vor oder hinter den Vorverstärkern 22 vorgesehen sind. In den gezeigten Ausgestaltungen 143, 144 sind

30



- jeweils zwei Synergiespulen 30, 31 und drei SENSE-Spulen 32, 33, 34 vorgesehen, wobei zur Entkopplung der Hochfrequenzspulen Entkopplungskapazitäten  $C_K$  vorgesehen sind. Alternativ können zur Entkopplung auch andere Mittel, z.B.  $\lambda/2$ -Leitungen oder Transformatoren, vorgesehen sein. Die gezeigten Ausgestaltungen eignen sich insbesondere für Herzuntersuchungen. Dabei kann auch vorgesehen sein, dass nur ein Teil der Hochfrequenzspulenordnung aus einer Kombination zweier Hochfrequenzspulenarrays besteht, während ein anderer Teil der Hochfrequenzspulenordnung eine herkömmliche Oberflächenspule bildet.
- 10 Eine vorteilhafte Anwendung einer erfindungsgemäßen MR-Anordnung, bei der alle Hochfrequenzspulen der verwendeten Hochfrequenzspulenordnung gegeneinander entkoppelt sind, so dass prinzipiell von allen Hochfrequenzspulen MR-Signale simultan empfangen werden können, soll anhand von Fig. 5 näher erläutert werden. Dabei sei davon ausgegangen, dass ein Synergiespulenarray und ein SENSE-Spulenarray vor-
- 15 handen sind. Die erfassten MR-Daten 40 sind dabei einerseits Synergiespulendaten 41 und andererseits SENSE-Spulen-Daten 42. Symbolisch ist jeweils der k-Raum sowie die Füllung des k-Raumes mit den erfassten MR-Daten gezeigt. Die SENSE-Daten 42 können dazu benutzt werden, um während der Datenerfassung (der Synergie-Daten 41) in Echtzeit Bilder 43, 44, 45 aus den auf unterschiedliche Weise verschachtelten k-
- 20 Raum-Datensätzen zu rekonstruieren, die Veränderungen des Messobjekts mit hoher zeitlicher Auflösung widerspiegeln. Die Echtzeitdaten können darüber hinaus in die MR-Datenerfassung zurückgeführt werden (Rückführung 47), um beispielsweise eine Bewegungskorrektur oder eine allgemeine Steuerung der Datenerfassung vorzunehmen. Aus den Synergiespulendaten 41 kann schließlich auch ein konventionelles MR-Bild 46
- 25 mit hohem Signal-Rausch-Abstand rekonstruiert werden. Es sei angemerkt, dass diese Vorgehensweise nicht auf die Kombination einer Synergiespulenordnung und einer SENSE-Spulen-Anordnung beschränkt ist, sondern auch bei Kombination anderer Hochfrequenzspulenarrays prinzipiell anwendbar ist.

- Hochfrequenzspulenarrays werden grundsätzlich dazu benutzt, das Signal-Rausch-Verhältnis zu verbessern. Die Zeitdauer der Bildaufnahme wird dabei grundsätzlich nicht verändert. Die bereits genannten Verfahren SENSE und SMASH verkürzen die Aufnahmezeit für ein MR-Bild auf Kosten des SNR. Bei beiden Methoden wird das
- 5 Field-Of-View (FOV) verkleinert, was zu Rückfaltungen führt. Die gewonnenen Bilder haben Rückfaltungsartefakte, die im Nachhinein wieder korrigiert werden müssen. Dies geschieht mit Hilfe der gewonnenen MR-Daten aus den einzelnen  $n$  Hochfrequenzspulen des Hochfrequenzspulenarrays, da diese eines von  $n$  Pixeln unterschiedlich sehen.
- 10 Das SENSE-Verfahren löst ein Gleichungssystem pixelweise aus den Bildern der einzelnen Hochfrequenzspulen mit unterschiedlichen Profilen, während das SMASH-Verfahren ein Gleichungssystem für ein ganzes MR-Bild liefert. Das SMASH-Verfahren benutzt im einfachsten Fall ein lineares Hochfrequenzspulenarray von Hochfrequenzspulen und synthetisiert mehrere sinusförmige Harmonische aus den Spulensensitivitäten.
- 15 Diese Harmonische liefern einen Versatz im  $k$ -Raum wie ein  $B_0$  Gradientenfeld. Daher ist die Rekonstruktionszeit für das SMASH-Verfahren hypothetisch schneller als für das SENSE-Verfahren, jedoch wird dies auf Kosten der Bildqualität „erkauft“. Das SENSE-Verfahren liefert die bessere Bildqualität. Prinzipiell können also beide Rekonstruktionsverfahren für ein lineares Hochfrequenzspulenarray benutzt werden. Aufgrund der neuen
- 20 und schnellen Hardware-Rekonstruktionseinheiten stellt auch die Rekonstruktionszeit bei dem SENSE-Verfahren kein Problem mehr dar hinsichtlich der Zeitauflösung.

- Synergiespulen dienen vorrangig dazu, ein optimales Signal-Rausch-Verhältnis zu liefern. Dies gilt natürlich auch für SENSE-Spulen, jedoch braucht nicht die Rand-
- 25 bedingung für eine gute Lösung des Gleichungssystems für die Rekonstruktion berücksichtigt zu werden. In der Regel wird klinisch ein hohes SNR benötigt mit möglichst geringen Artefakten, also eine möglichst hohe SNR- und Intensitätsverteilung über das gesamte FOV. Dies wird grundsätzlich schon mit einer geringen Anzahl von Hochfrequenzspulen erreicht. Die Kombination dieser Hochfrequenzspulen zu einem
- 30 Gesamtbild liefert dem Zentrum ein SNR, was durch weitere Erhöhung der Anzahl der

Hochfrequenzspulen nicht mehr wesentlich zu steigern wäre.

Ein derartiges Synergiespulenarray kann im Prinzip auch für das SENSE-Verfahren benutzt werden. Für eine hohe Zeitauflösung können an den Hochfrequenzspulen  
5 Änderungen vorgenommen werden, die für optimale homogene Bildqualität weniger geeignet sind. Zum einen werden die individuellen SENSE-Spulen nicht überlappt, sondern haben einen gewissen Abstand voneinander, wie dies beispielsweise in Fig. 6a gezeigt ist, in der drei im Abstand  $d$  von z.B. etwa 5-10mm voneinander angeordnete SENSE-Spulen 50, 51, 52 gezeigt sind. Wie in Fig. 6b gezeigt ist, sind zur Entkopplung  
10 der drei Spulen 50, 51, 52 Entkopplungskapazitäten  $C_K$  vorgesehen, während zur Einstellung der Resonanz entsprechende Resonanzkapazitäten  $C_T$  vorgesehen sind. Zwei weitere Ausgestaltungen eines SENSE-Hochfrequenzspulenarrays mit kapazitiver Entkopplung bzw. induktiver Entkopplung mittels lokaler HF-Transformatoren  $T$  sind in Fig. 6c, d gezeigt. Die Hochfrequenzspulen können auch zueinander gekippt liegen, wie  
15 in Fig. 6e anhand von fünf SENSE-Spulen 60-64 gezeigt ist. Außerdem sollte die Anzahl der Hochfrequenzspulen möglichst groß sein.

Weitere Ausgestaltungen einer erfindungsgemäßen Hochfrequenzspulenordnung sind in den Fig. 7a bis 7g schematisch gezeigt. Die Fig. 7a und 7b zeigen jeweils vier  
20 Synergiespulen 70-73 mit jeweils einem Vorverstärker 22. Die Spulen 70-73 sind jeweils mittels Entkopplungskapazitäten  $C_K$  entkoppelt, aber auf unterschiedliche Weise zusammengeschaltet.

In den Fig. 7c und 7d sind zwei weitere Synergiespulenarrays gezeigt mit jeweils vier  
25 Synergiespulen 70-73. Dabei sind die Entkopplungskondensatoren  $C_K$  jeweils in der Mitte angeordnet. Zur Abstimmung sind weiterhin Abstimmkondensatoren  $C_T$  in unterschiedlicher Anzahl vorgesehen.

Eine weitere Ausgestaltung eines SENSE-Hochfrequenzspulenarrays ist in Fig. 7e  
30 gezeigt. Dieses weist sechs Spulenpaare 80-85 mit jeweils zwei über eine

Entkopplungskapazität  $C_k$  entkoppelte Hochfrequenzspulen und jeweils zwei Vorverstärker auf. Die Spulenpaare 80-85 sind dabei über den Abstand voneinander und den hochohmigen Eingangswiderstand der Vorverstärker 22 voneinander entkoppelt.

- 5 Eine Kombination eines in Fig. 7e gezeigten SENSE-Hochfrequenzspulenarrays mit einem Synergiespulenarray ist in Fig. 7f gezeigt. Dabei sind die acht Spulenpaare 80-85 nahezu vollständig von dem aus zwei Synergiespulen 90, 91 bestehenden Synergiespulenarray überdeckt. Grundsätzlich könnten natürlich auch andere SENSE-Spulen sowie eine andere Anzahl und Anordnung von SENSE-Spulen oder Synergiespulen  
10 miteinander gekoppelt werden.

- Ein alternatives SENSE- bzw. SMASH-Hochfrequenzspulenarray mit vier SENSE-Hochfrequenzspulen 100, 101, 102, 103 ist in Fig. 7g gezeigt. Ein solches Hochfrequenzspulenarray wird bevorzugt mit einer großen Loop-Spule als Synergiespule  
15 kombiniert.

- Erfindungsgemäß sind mindestens zwei für unterschiedliche Anwendungen optimierte Hochfrequenzspulenarrays in einem Spulenkörper integriert. Der Aufbau von solchen kombinierten Hochfrequenzspulenarrays kann beispielsweise in einer Art Sandwich-  
20 Bauweise ausgeführt werden. Hinsichtlich der Anzahl, Anordnung und Ausgestaltung der einzelnen Hochfrequenzspulen bzw. der Hochfrequenzspulenarrays sind unterschiedliche Lösungen denkbar, so dass sich verschiedene neuartige MR-Bildgebungsverfahren umsetzen lassen. Insgesamt wird mit der erfindungsgemäßen MR-Anordnung eine deutliche Verkürzung der Datenakquisitionszeit erreicht bei gleichzeitiger  
25 Erleichterung der Handhabung.

## PATENTANSPRÜCHE

1. MR-Anordnung für die MR-Bildgebung mit
- einem Hauptfeldmagneten zur Erzeugung eines statischen Hauptmagnetfeldes,
  - einer Gradientenspulenordnung mit mehreren Gradientenspulen zur Erzeugung von magnetischen Gradientenfeldern,
  - 5 - einer Hochfrequenzspulenordnung zum Senden und/oder Empfangen von Hochfrequenzsignalen mit mindestens zwei in einem Spulenkörper integrierten, für unterschiedliche Anwendungen optimierten Hochfrequenzspulenarrays, wobei jedes Hochfrequenzspulenarray mindestens zwei voneinander entkoppelte Hochfrequenzspulen aufweist,
  - 10 - einer Sende-/Empfangseinheit zur Ansteuerung der Hochfrequenzspulenarrays und zum Empfang von MR-Signalen der Hochfrequenzspulenarrays, wobei mehrere Kanäle, insbesondere eine der Anzahl der Hochfrequenzspulen des Hochfrequenzspulenarrays mit den meisten Hochfrequenzspulen entsprechende Anzahl von Kanälen, vorgesehen ist,
  - einer Steuereinheit zur Steuerung der MR-Bildgebung, wobei die Steuereinheit zur
  - 15 Umschaltung der Hochfrequenzspulenarrays für einen zeitlich getrennte Nutzung der einzelnen Hochfrequenzspulenarrays während der MR-Datenerfassung ausgestaltet ist, und
  - einer Verarbeitungseinheit zur Verarbeitung empfangener MR-Signale.
- 20 2. MR-Anordnung nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die mindestens zwei Hochfrequenzspulenarrays voneinander entkoppelt sind.

3. MR-Anordnung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass ein erstes Hochfrequenzspulenarray für das SENSE- oder SMASH-Verfahren und ein zweites Hochfrequenzspulenarray als Synergiespulenarray optimiert sind.

5

4. MR-Anordnung nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Hochfrequenzspulen des SENSE- bzw. SMASH-Hochfrequenzspulenarrays derart in dem Spulenkörper angeordnet sind, dass sie näher am Untersuchungsobjekt

10 liegen als die Hochfrequenzspulen des Synergiespulenarrays.

5. MR-Anordnung nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass das SENSE- bzw. SMASH-Hochfrequenzspulenarray mehr und kleinere

15 Hochfrequenzspulen aufweist als das Synergiespulenarray.

6. MR-Anordnung nach Anspruch 3,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Hochfrequenzspulen des Synergiespulenarrays einander überlappend angeordnet

20 sind und dass die Hochfrequenzspulen des SENSE- bzw. SMASH-

Hochfrequenzspulenarrays einander nicht überlappend angeordnet sind.

7. MR-Anordnung nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

25 dass alle Hochfrequenzspulen mit einem gesonderten Kanal der Sende/Empfangeinheit verbunden sind und dass die Steuereinheit ausgestaltet ist zur simultanen Erfassung von MR-Signalen mit Hochfrequenzspulen unterschiedlicher Hochfrequenzspulenarrays.

8. MR-Anordnung nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass Mittel zur Rückkopplung von in Echtzeit erfassten und ausgewerteten MR-Signalen in die Steuereinheit vorgesehen zur Veränderung der Steuerung der aktuellen MR-

5 Datenerfassung entsprechend den in Echtzeit erfassten und ausgewerteten MR-Signalen.

9. MR-Anordnung nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet,

dass die Steuereinheit ausgestaltet ist zur Erfassung von MR-Signalen aus einem ersten

10 Teilbereich des k-Raums mit einem ersten Hochfrequenzspulenarray, insbesondere zur Erfassung von MR-Signalen aus dem zentralen Bereich des k-Raums mit einem

Synergiespulenarray, und zur Erfassung von MR-Signalen aus einem zweiten Teilbereich des k-Raums mit einem zweiten Hochfrequenzspulenarray, insbesondere zur Erfassung von MR-Signalen aus Randbereichen des k-Raums mit einem SENSE- bzw. SMASH-

15 Hochfrequenzspulenarray.

10. Hochfrequenzspulenordnung für eine MR-Anordnung nach Anspruch 1 zum Senden und/oder Empfangen von Hochfrequenzsignalen mit mindestens zwei in einem Spulenkörper integrierten, für unterschiedliche Anwendungen optimierten

20 Hochfrequenzspulenarrays, wobei jedes Hochfrequenzspulenarray mindestens zwei voneinander entkoppelte Hochfrequenzspulen aufweist.

1/9

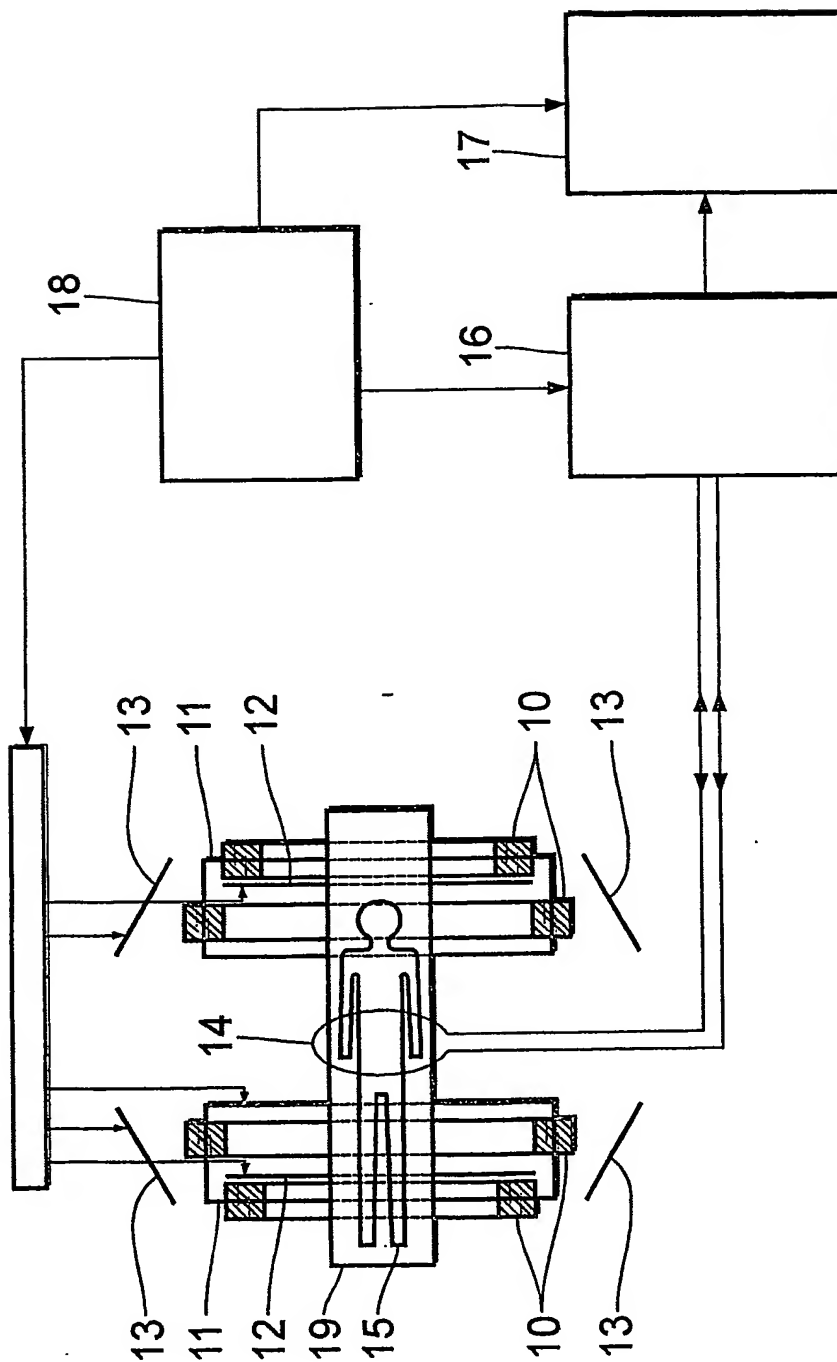


Fig. 1



2/9

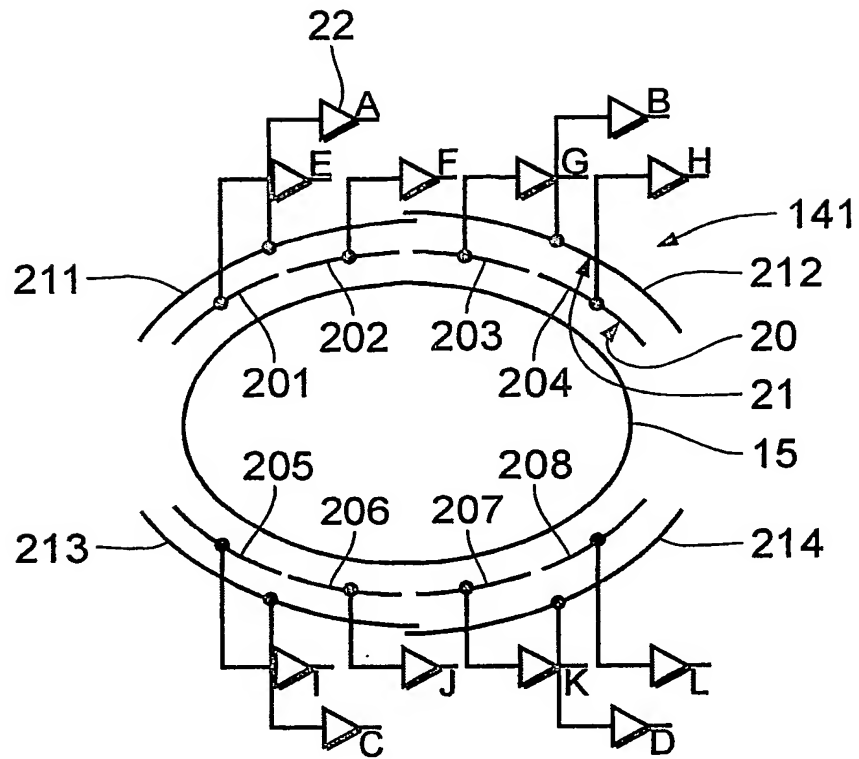


Fig. 2a

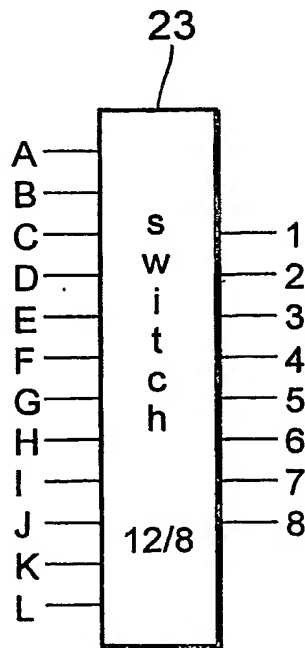


Fig. 2b

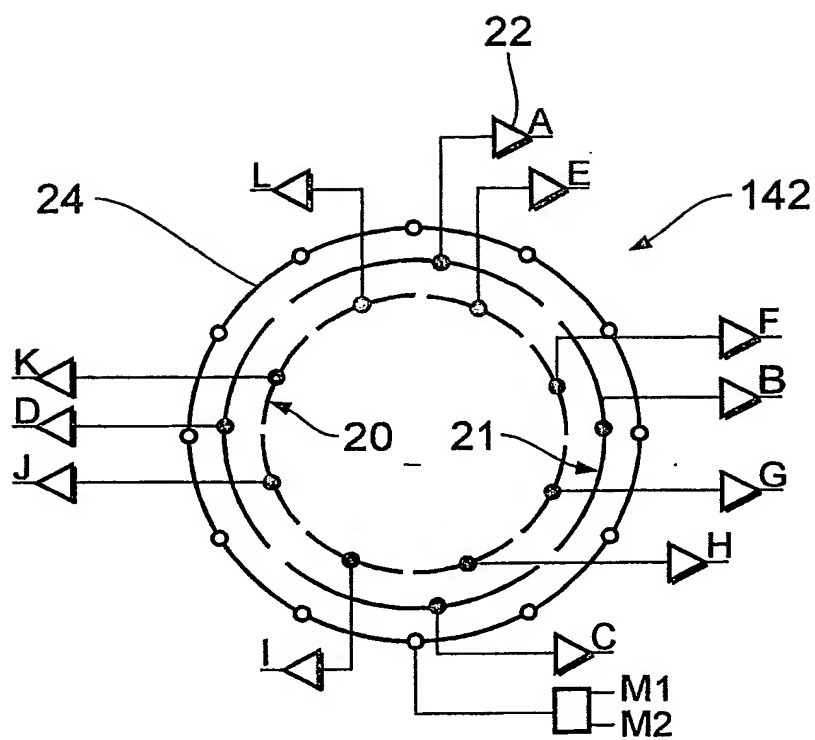


Fig. 3

4/9

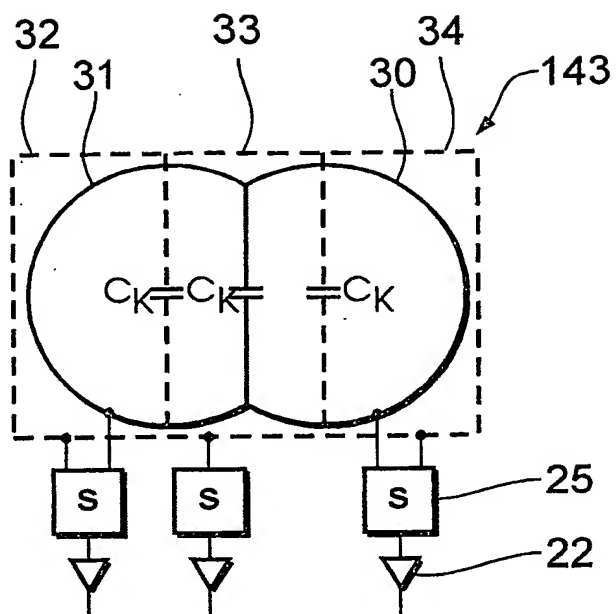


Fig. 4a

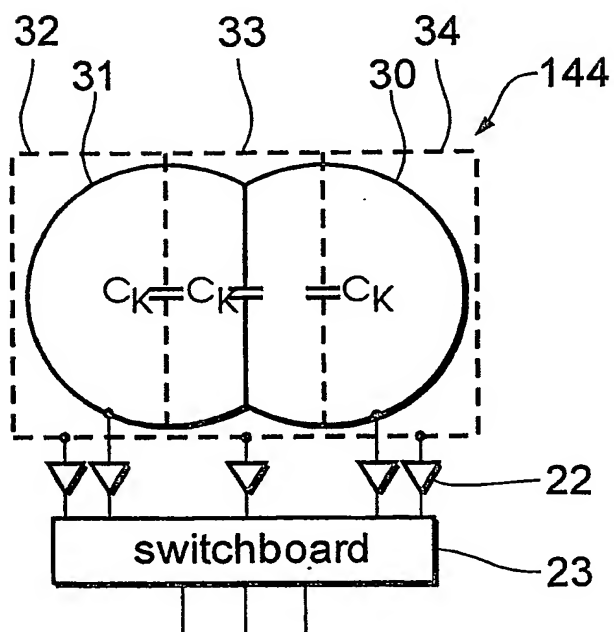


Fig. 4b

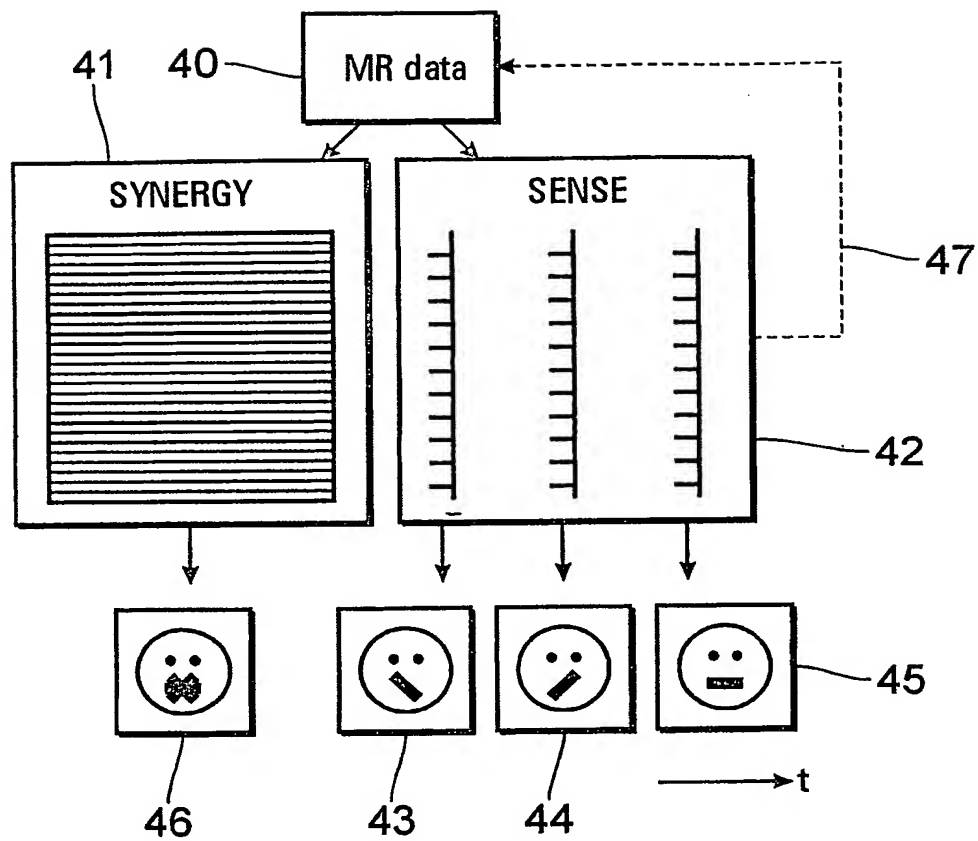


Fig. 5

6/9

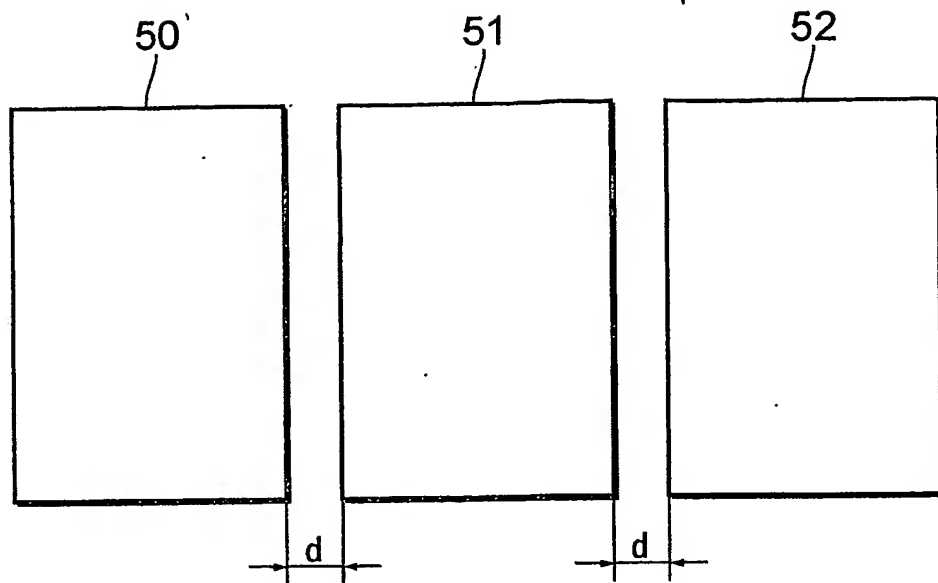


Fig. 6a

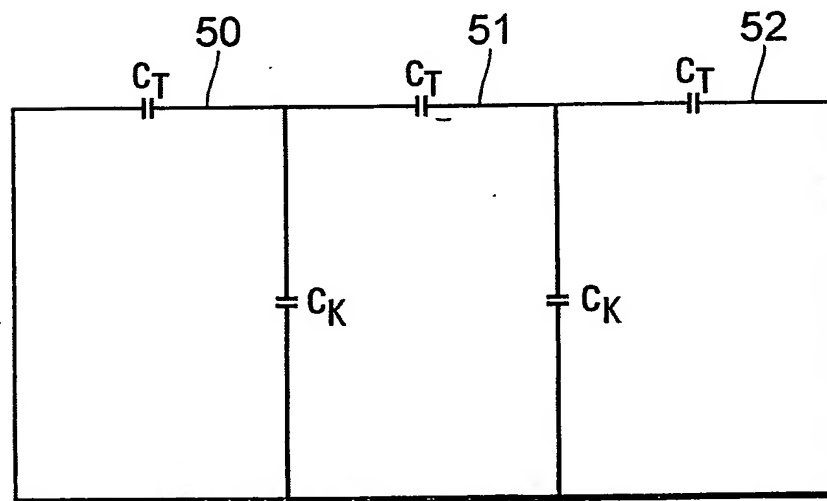


Fig. 6b

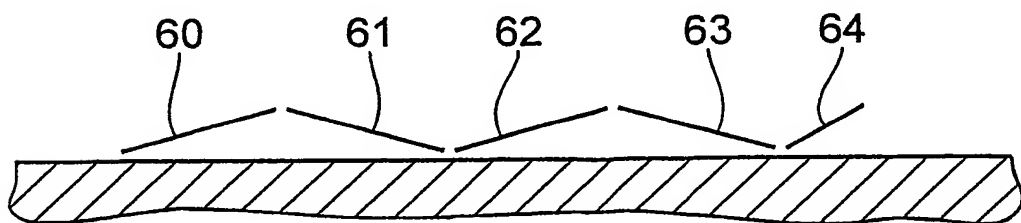


Fig. 6e

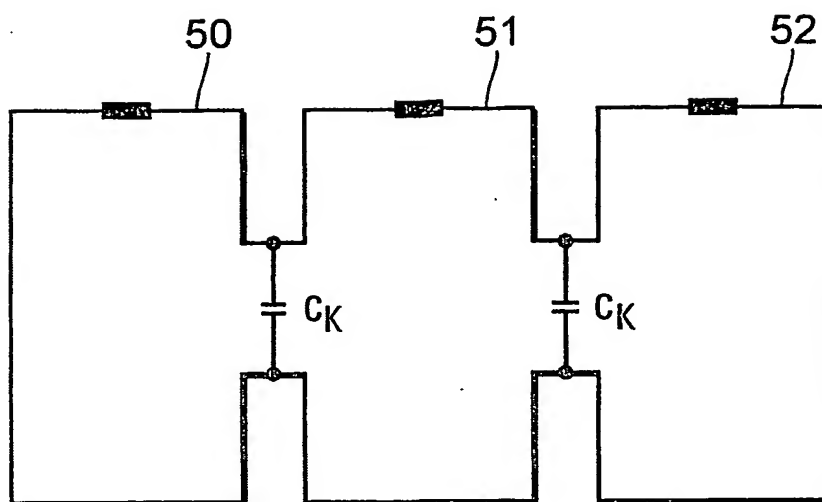


Fig. 6c

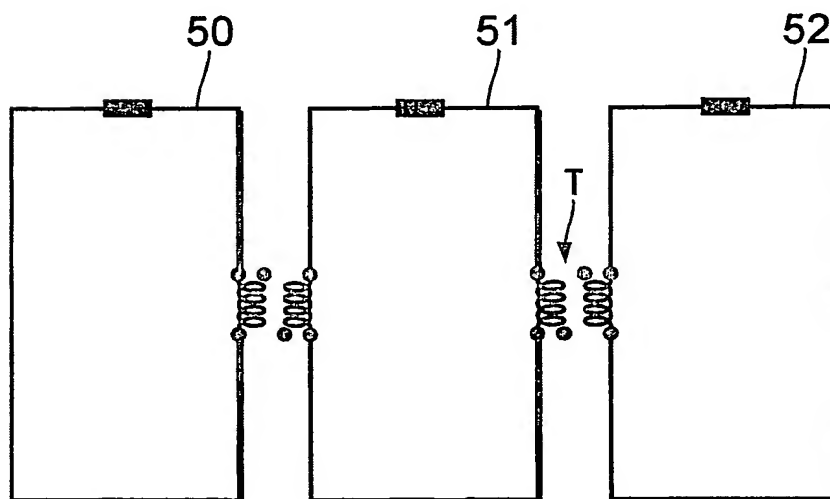


Fig. 6d

8/9

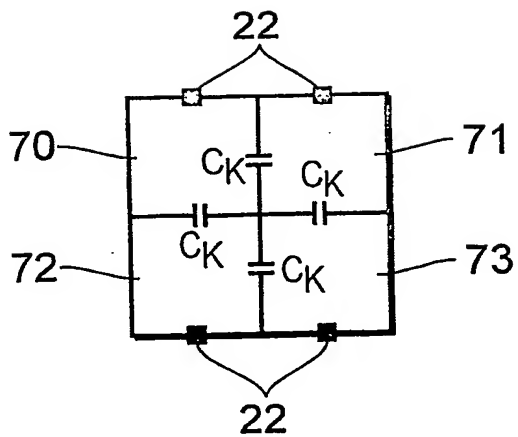


Fig. 7a

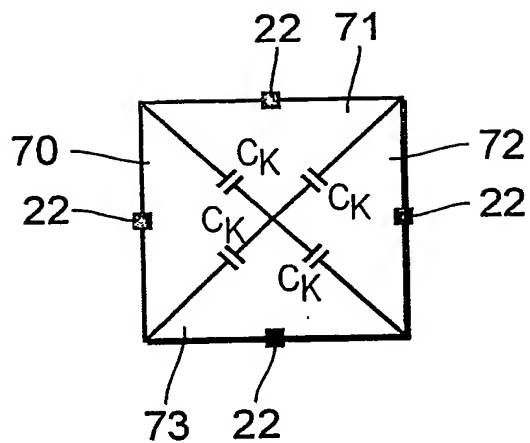


Fig. 7b

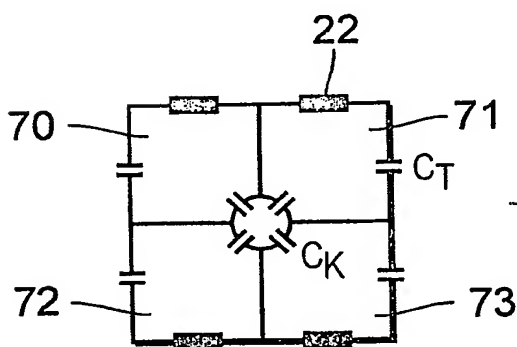


Fig. 7c

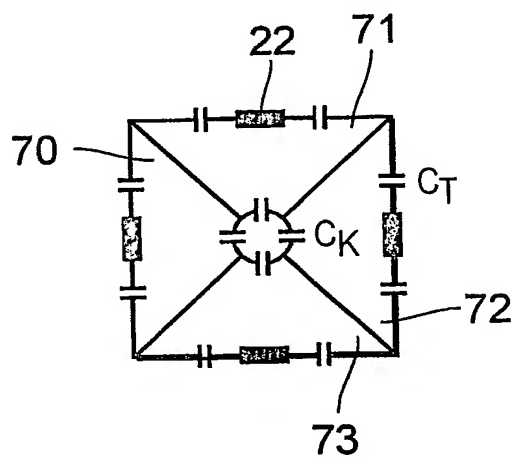


Fig. 7d

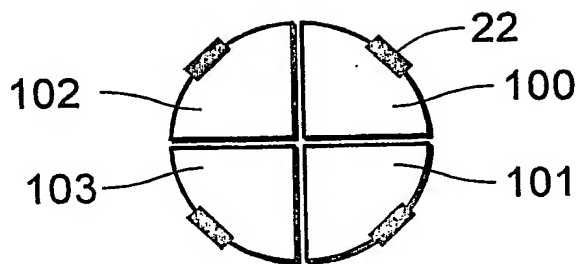


Fig. 7g

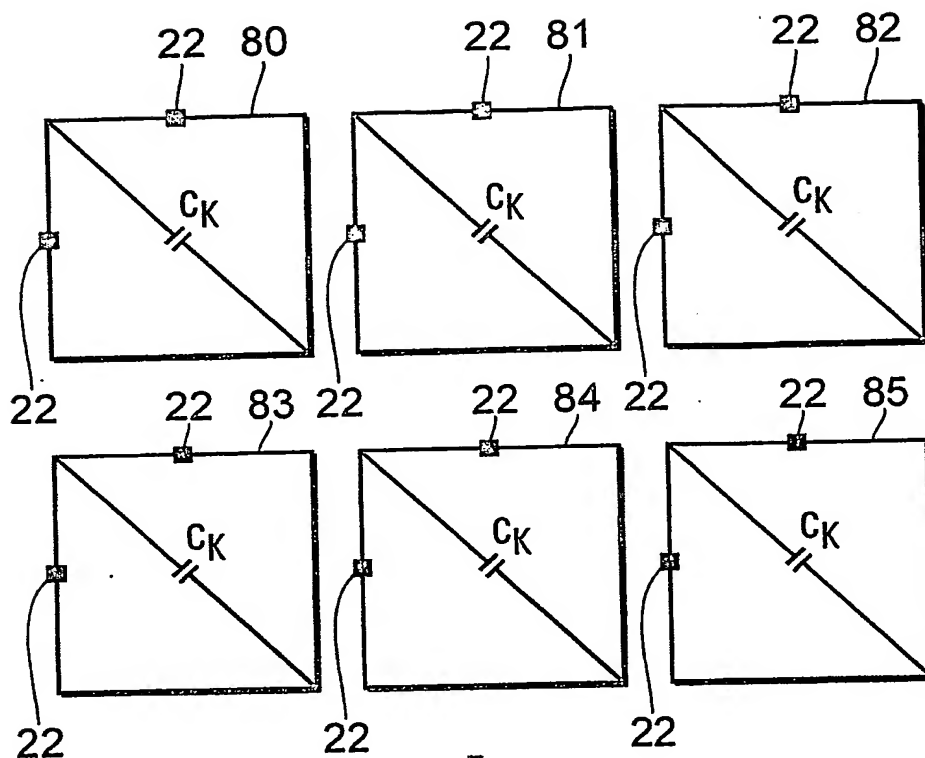


Fig. 7e

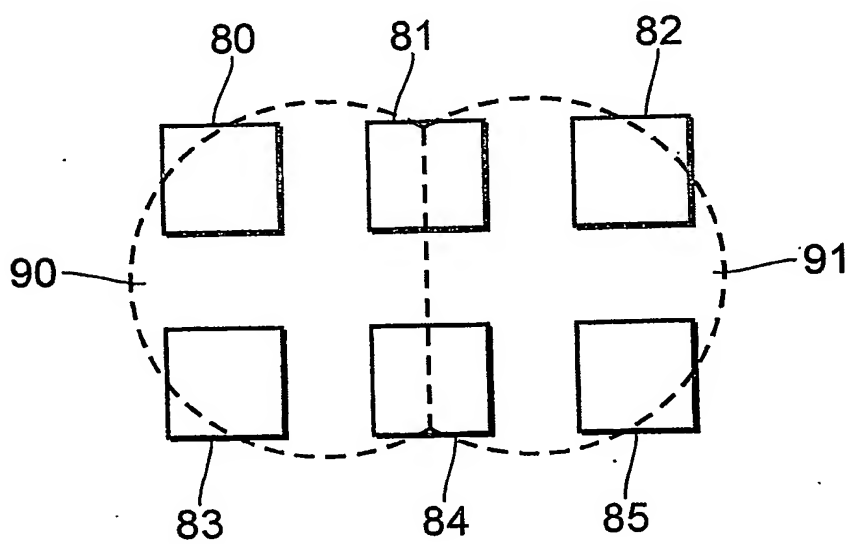


Fig. 7f



ZUSAMMENFASSUNG

## MR-Anordnung mit unterschiedlich optimierten Hochfrequenzspulenarrays

- Die vorliegende Erfindung betrifft eine MR-Anordnung für die MR-Bildgebung sowie eine Hochfrequenzspulenordnung für eine solche MR-Anordnung. Um bei einer
- 5 solchen MR-Anordnung zwischen verschiedenen Anwendungen hin- und herschalten zu können, ohne den Patienten bewegen zu müssen, um eine neue Hochfrequenzspulenordnung anzulegen, wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, die Hochfrequenzspulenordnung zum Senden und/oder Empfangen von Hochfrequenzsignalen mit mindestens zwei in einem Spulenkörper integrierten, für unterschiedliche Anwendungen optimierten
- 10 Hochfrequenzspulenarrays vorzusehen, wobei jedes Hochfrequenzspulenarray mindestens zwei voneinander entkoppelte Hochfrequenzspulen aufweist.

Fig. 2a

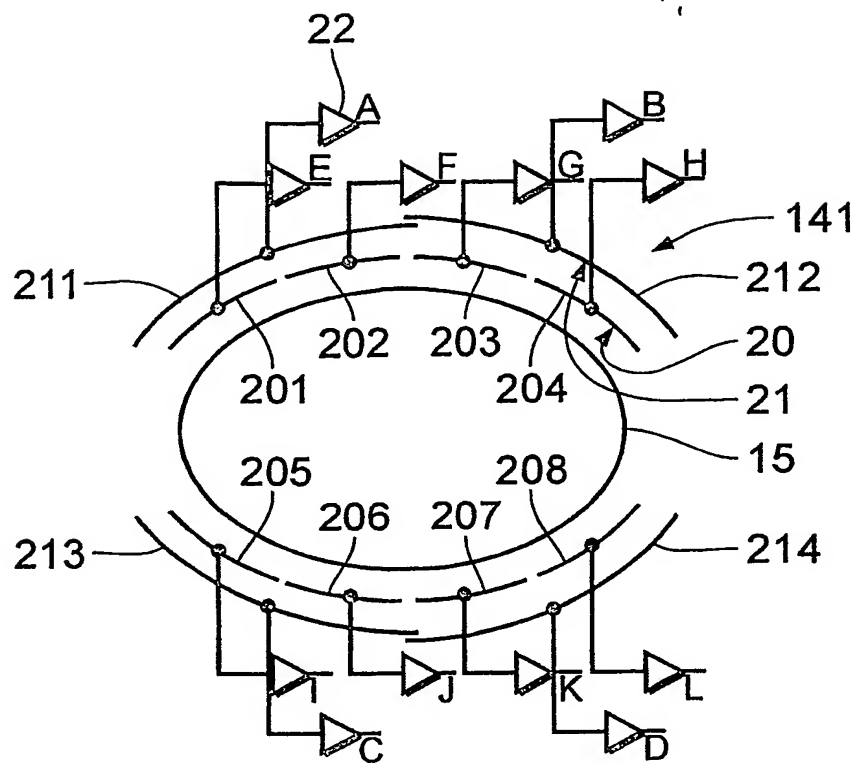


Fig. 2a

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**